

Министерство образования и науки РФ

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УДК 536.24:621.311.22.002.5

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
_____ Кружаев В.В.
«__» _____ 2013

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

В рамках выполнения п.2.1.1.1 Плана реализации мероприятий Программы развития
УрФУ на 2013 год

ПО ТЕМЕ:

«Совершенствование теплообменных аппаратов систем маслоснабжения паротурбинных
установок за счет применения различных типов профилирования трубок»

(Заключительный)

Зав.кафедрой _____ Бродов Ю.М.

Научный руководитель _____ Рябчиков А.Ю.

Исполнитель _____ Желонкин Н.В.

Екатеринбург 2013

Реферат

Отчет 28 с., 3 прил.

1. ФИО автора:

Желонкин Николай Владимирович
Zhelonkin Nikolay Vladimirovich

2. Аннотация:

Исследованы особенности течения и теплообмена масла в пучках гладких и профилированных трубок. Рассмотрено влияние окружения соседних трубок пучка на теплообмен на рабочей трубке.

Oil flow features and heat transfer in bundles of smooth and profile tubes are investigated. The effect of neighbouring tubes on investigated tube heat transfer is studied.

3. Ключевые слова:

теплообмен, профилированные трубки, пучок.
heat transfer intensification, profile tubes, bundle.

4. Тема отчета:

Совершенствование теплообменных аппаратов систем маслоснабжения паротурбинных установок за счет применения различных типов профилирования трубок

Improving the oil coolers of turbine oil delivery systems through the use of various types of profiling tubes

Объектом исследования является течение вязких жидкостей в пучках с гладкими и профилированными трубками.

Цель работы – получение обобщенных зависимостей, разработка теплофизических моделей и уточнение методик расчета маслоохладителей с трубными пучками из профилированных трубок, для повышения эффективности серийных маслоохладителей при их модернизации и обосновании оптимальных конструктивных решений при проектировании новых аппаратов.

Метод исследования – для проведения экспериментальных теплофизических исследований на стенде реализован метод локального теплового моделирования. Разработка теплофизических моделей проводится методом конечных элементов в программном продукте Star-CCM+ компании CD-adapco.

Результаты экспериментальных исследований на пучке гладких трубок хорошо согласуются с классическими зависимостями.

В результате опытов, установлено, что наибольший коэффициент теплоотдачи, в исследованном диапазоне числа Re , достигается на трубке со встречной накаткой (ТВН). При увеличении числа Re_m эффект от профилирования трубок возрастает.

На основе проведенных исследований уточнена позонная методика теплогидравлического расчета маслоохладителей с гладкими трубками и ПВТ.

Результаты работы уже использованы для проектирования и изготовления маслоохладителя МБ-50М-75 и МОВ-30 Невинномысской ГРЭС и будут использованы при модернизации серийных маслоохладителей и разработке серии новых маслоохладителей и теплообменного оборудования энергетических установок.

По результатам проведенных на данном этапе исследований был сделан доклад на «XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов» 21-23 мая 2013 г. (Приложение 1), опубликована монография «Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок» (Приложение 2). Опубликовано учебное пособие «Маслоохладители в системах маслоснабжения турбоустановок» (Приложение 3).

Содержание

Содержание	3
Введение	4
Испытания маслоохладителей	5
Выводы	8
Заключение	9
Приложение	10
Приложение 1	11
Приложение 2	16
Приложение 3	23

Введение

Исследованиям теплообмена при течении вязких жидкостей в пучках с гладкими трубками посвящено большое количество работ. Полученные зависимости позволяют проводить расчеты и разрабатывать охладители масла для энергетических машин. В последнее время нашли широкое распространение маслоохладители с трубками из нержавеющей стали (08X18H10T), что определяется высокой коррозионной стойкостью данного материала в средах, не содержащих (или содержащих небольшое количество) хлоридов. Так, только по разработкам авторов изготовлено и поставлено на ТЭС более 200 маслоохладителей различных типоразмеров для турбин мощностью от 6 до 800 МВт.

Использование трубок из нержавеющей стали с относительно низким коэффициентом теплопроводности материала ($\lambda_{ст}=16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) при более высокой надежности гладких трубок несколько снижает тепловую эффективность маслоохладителей, что требует поиска и применения интенсифицирующих теплообмен поверхностей. В настоящее время в теплообменных аппаратах нашли широкое применение профилированные трубки с накаткой – профильные витые (ПВТ). Если на профильную витую трубку с «правой» накаткой нанести «левую» накатку, то получится трубка со встречной накаткой (ТВН). В ряде аппаратов различного назначения используются профильные трубки с кольцевой накаткой (ПКТ). Проведенный анализ показал, что данные по интенсификации теплообмена при обтекании вязкими жидкостями пучков с профилированными трубками практически отсутствуют. Эти обстоятельства и обосновали необходимость проведения комплекса экспериментальных исследований по изучению теплогидравлических процессов в трубных пучках с гладкими и профилированными трубками применительно к маслоохладителям турбоустановок.

В данной отчете рассмотрены результаты сравнительных исследований применения в маслоохладителях ПТУ гладких трубок, ПВТ и ТВН.

Испытания маслоохладителей

Применение профилированных трубок рассматривается в настоящее время как один из перспективных путей повышения эффективности теплообменных аппаратов паротурбинных установок. Широкое применение нашли профильные витые трубки (ПВТ) [1,2] (рис.1,б), которые имеют ряд преимуществ перед другими поверхностями теплообмена: хорошая изученность этих трубок; отлаженная, достаточно простая и недорогая технология изготовления трубок; повышение интенсивности теплопередачи в аппаратах с такими трубками (на 15-40 %) в сравнении с гладкотрубными теплообменниками; допустимое в большинстве случаев увеличение гидравлического сопротивления аппарата (до 80 %) и т.д. Дальнейшим развитием данного типа поверхности теплообмена с винтовой накаткой является предложенная поверхность теплообмена со встречной накаткой (ТВН) (рис. 1, в). Ранее проведенные экспериментальные исследования на трубке со встречной накаткой (ТВН) показали её повышенную эффективность.

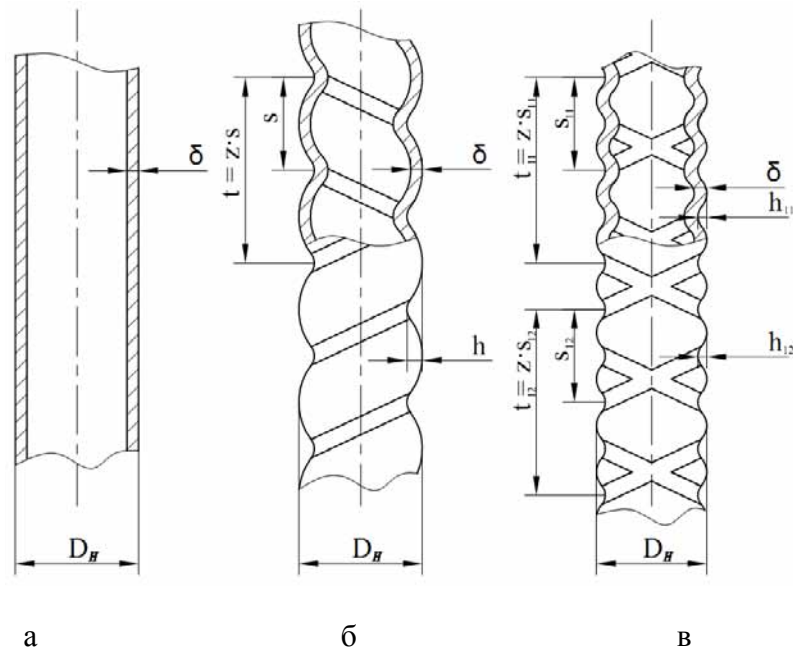


Рис. 1. а — гладкая трубка, б — профильная витая трубка (ПВТ), в — трубка со встречной накаткой (ТВН): h, h_{11}, h_{12} — глубина канавки, мм; s, s_{11}, s_{12} — шаг между соседними канавками, мм; z — число заходов профилирования; δ — толщина стенки трубки; D_H — наружный диаметр трубки

Сравнительные испытания маслоохладителей с гладкими трубками, ПВТ и ТВН проводились на турбинах К-160-130 ХТГЗ ст. № 8, 9 Невинномысской ГРЭС. Заводом-изготовителем турбины оснащены четырьмя серийными гладкотрубными маслоохладителями МО-53-4 (табл. 1). Во время планового ремонта на турбине ст.№9 установлены маслоохладители МБ-50М-75, МО-1,2,4 с ПВТ, МО-3 с ТВН, изготовленные

по проекту УрФУ. На турбине ст.№8 серийные маслоохладители МО-53-4 силами ГРЭС переделаны с 4-х ходовых на 2-х ходовые по охлаждающей воде.

Целью исследования являлось проведение тепловых и гидравлических испытаний маслоохладителей с гладкими с профилированными трубками. Тепловые испытания проводились на МО-4 (с гладкими трубками) блока ст.№8 (на момент испытаний в аппарате отглушено 22 трубки, что составляет 3,4% от общего числа) и на МО-3 (с ТВН), МО-4 (с ПВТ) блока ст.№9. Гидродинамические испытания проводились на МО-1,2,3,4 блока ст.№9 с отключенной турбиной на резервном масляном насосе.

Таблица 1

Технические характеристики маслоохладителей:
серийного МО-53-4 и МБ-50М-75 УрФУ

Параметр	Тип маслоохладителя	
	МО-53-4	МБ-50М-75 УрФУ
Поверхность охлаждения, м ²	52,6	62,5
Номинальный расход масла, м ³ /ч	79,5	79,5
Номинальный расход воды, м ³ /ч	140	140
Номинальная температура масла, °С:		
на входе	55	55
на выходе	45	44
Номинальная температура воды на входе, °С	33	33
Количество дисковых перегородок	9 шт.	8 шт.
Количество кольцевых перегородок	10 шт.	9 шт.
Число ходов по маслу	20	18
Число ходов по воде	4	2
Зазор между корпусом и кольцевой перегородкой	0,4...0,9 мм	0,0 мм
Гидравлическое сопротивление маслоохладителя при номинальном расходе, МПа:		
	по воде 0,020	0,01
по маслу	0,163	0,09
Общее число трубок, шт.	640	688
Диаметр и толщина стенки трубок, мм	16×1	16×0,8
Длина трубок	1867 мм	1880 мм
Материал трубок	МНЖ5-1	08Х18Н10Т
Материал трубных досок	Ст3	12Х18Н10Т
Полная высота аппарата, мм	2650	2520
Наружный диаметр корпуса, мм	676	720
Масса аппарата, кг	1735	1600

Методика проведения испытаний маслоохладителей включает в себя измерения ряда параметров теплоносителей. На рис.2 приведена реализованная схема измерений для проведения испытаний маслоохладителей. Во время тепловых испытаний измерялись температуры и расходы теплоносителей на испытываемом маслоохладителе, а также давление по охлаждающей воде перед группой маслоохладителей (по охлаждающей воде и маслу маслоохладители включены параллельно). Температура масла, после группы из четырёх маслоохладителей, на смазку подшипников поддерживалась 40 °С. В процессе гидродинамических испытаний измерялись величины давлений масла (п.2,3 см. табл. 2), при этом по воде маслоохладители были отключены, температура масла в процессе испытаний поддерживалась постоянной.

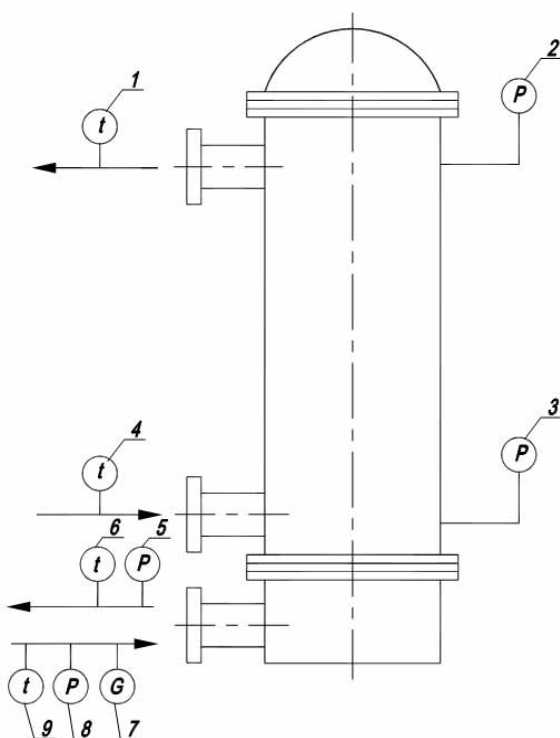


Рис. 2. Схема измерений при испытании маслоохладителя:

1- температура масла на выходе; 2- давление масла на выходе; 3- давление масла на входе; 4- температура масла на входе; 5- давление охлаждающей воды на выходе; 6- температура охлаждающей воды на выходе; 7- расход воды; 8- давление охлаждающей воды на входе; 9- температура охлаждающей воды на входе

Тепловые испытания маслоохладителей на блоках ст.№8 (МО-4) и ст.№9 (МО-3, МО-4) проводились при следующих условиях: в работе все 4 МО, устанавливался расход охлаждающей воды через маслоохладитель МО-3 или МО-4, при этом расходом воды через остальные МО регулировалась температура масла на выходе из группы маслоохладителей $\approx 40^\circ\text{C}$. После этого, в течение 30 минут маслоохладители выходили на стационарный режим, далее проводились измерения параметров теплоносителей (см. рис.2). Аналогично проводились измерения и при других значениях расхода охлаждающей воды. При этом на исследуемом маслоохладителе реализованы режимы с температурой масла на выходе $t_{2м}$ от $19,2$ до $36,0^\circ\text{C}$, температурой охлаждающей воды на входе $t_{1в}$ от $1,5$ до $7,5^\circ\text{C}$, расходами масла G_m от 33 до $75\text{ м}^3/\text{ч}$ и воды G_w от 13 до $157\text{ м}^3/\text{ч}$.

Для сведения теплового баланса по масляной и водяной сторонам проводились также замеры расходов масла на общем коллекторе после группы маслоохладителей. Тепловой баланс в опытах сведен с погрешностью $\pm 4\%$.

Измерения параметров работы маслоохладителей на каждом режиме повторялись три раза.

Погрешность измерения температур $\pm 0,5^\circ\text{C}$, расходов теплоносителей $\pm 3\%$, давлений масла $\pm 0,1\text{ кгс/см}^2$, давления воды $\pm 0,05\text{ кгс/см}^2$, коэффициента теплопередачи $\pm 5\%$.

Сравнение тепловой эффективности маслоохладителей необходимо проводить в сопоставимых условиях, т.е. при одинаковых температурах масла и температурах воды на входе в аппарат, а так же одинаковых расходах масла и расходах воды через маслоохладители. Достаточно сложно в условиях эксплуатации для разных маслоохладителей обеспечить одинаковые режимы работы, поэтому для возможности сопоставления результатов испытаний использовались расчеты по позонной методике.

Выводы

Анализ результатов проведенных испытаний на Невинномысской ГРЭС маслоохладителя МО-53-4 с гладкими трубками, новых МБ-50М-75 с ТВН и ПВТ и расчетного исследования показал:

- маслоохладители работают в режимах, при которых расход охлаждающей воды значительно ниже номинального (соответствующего скорости воды в трубках ~ 2 м/с), что возможно приводит к интенсивному загрязнению трубок;
- для сопоставления результатов испытаний маслоохладителей с различными типами поверхностей теплообмена использована разработанная авторами позонная методика теплогидравлического расчета; результаты расчетов по уточненной методике удовлетворительно согласуются с результатами испытаний маслоохладителей;
- проведенные исследования показали, что маслоохладители с ТВН охлаждают масло на 1-2 °С больше, чем маслоохладитель с гладкими трубками;
- гидравлическое сопротивление маслоохладителя с ТВН с масляной стороны при расходе масла через аппарат от 30 до 90 м³/ч до 15 % выше, чем маслоохладителя с ПВТ;
- гидравлическое сопротивление с водяной стороны маслоохладителя МБ-50М-75 (с ТВН) на 30 – 60 % выше, чем маслоохладителя МО-53-4 с гладкими трубками;
- количество передаваемой теплоты в МБ-50М-75 (с ТВН) на 10...15% а в МБ-50М-75 (с ПВТ) на 9...12% выше, чем в аппарате с гладкими трубками;
- принятые при проектировании и изготовлении маслоохладителя МБ-50М-75 технические решения целесообразны и эффективны;
- применение трубок из нержавеющей стали, существенно повышает надежность работы маслоохладителя, а их профилирование позволяет получить тепловую производительность нового маслоохладителя выше, чем у серийного (с поверхностью теплообмена из МНЖ5-1) на всех режимах работы.

Заключение

Проведены сравнительные испытания маслоохладителей с гладкими трубками, ПВТ и ТВН на турбинах К-160-130 ХТГЗ ст. № 8, 9 Невинномысской ГРЭС.

По результатам проведенных на данном этапе исследований был сделан доклад на «XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов» 21-23 мая 2013 г. (Приложение 1), опубликована монография «Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок» (Приложение 2). Опубликовано учебное пособие «Маслоохладители в системах маслоснабжения турбоустановок» (Приложение 3).

Приложение